植物生理

熱紅外線輻射影像

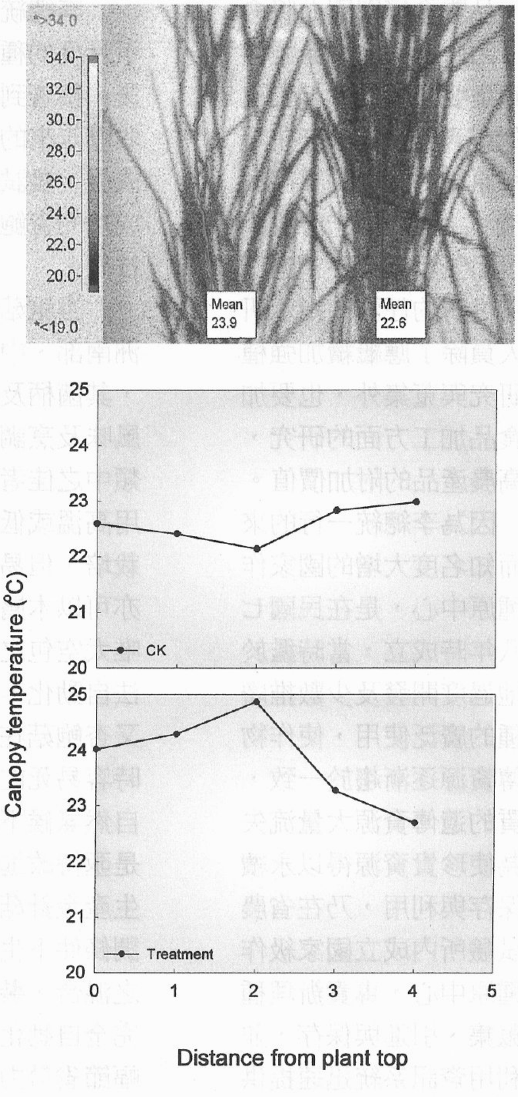
——在水稻缺水研究上之應用

◎農試所農藝系　楊純明　賴小麗　蘇慕容

作者在前期報告（臺灣省農業試驗所技術服務季刊28:19-21），曾簡介紅外線熱像（溫測）技術在水稻缺水（乾旱）研究上之可能應用，獲得相當迴響。在實際操作的若干問題上，擬繼續以理論與案例解說，期以推廣此一技術在國內農業生產過程的多方應用。

紅外線熱像技術為遙感探測之一種，係使用感測儀器從遠距離偵深與收集被測物的表面溫度（輻射溫度）資料，以二維方式呈現各點溫度影像。溫度的高低由灰階顯示，也可以人工方式電腦上色。此種方法不似傳統的同步（或同位置）測定法（in situ measurement），直接將感測器接觸或浸入被測物體。前者量測被測物體的輻射溫度，即物體放射能量或稱物體表面，後者量測物體的動態溫度（kine tictemperature），即組成該物體分子的平均動能。物體表面溫度之輻射能以熱紅外線為主，與近紅外線（0.7-1.3um）及反射紅外線(1.3-3.0 um)無直接關係，採電子偵測器掃描，記錄於磁帶（片）或熱紅外線感光底片。

輻射溫度之量測係利用史蒂芬－波茲曼定律（$W=q\sigma.T^4$），感測黑體表面放射之輻射量W，再推算其表面溫度T，係對輻射溫度的間接量測。由於大自然界的實際物體（質）放射的能量僅為黑體放射能之一部份（故稱為灰體），尚須加入該物

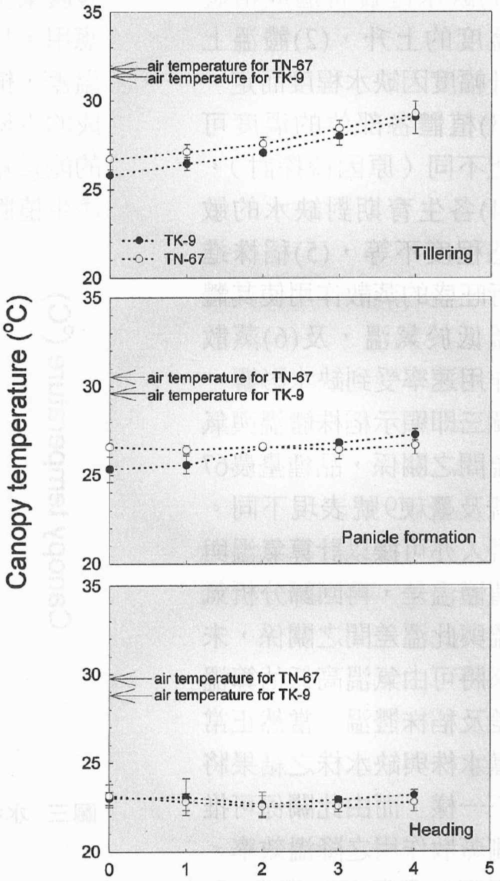


圖一　正常灌溉（為上圖右）及缺水處理（為上圖左）稻株植體溫度之比較

體（質）之放射率。放射率（emissivity, ε）被定義為實際物體（質）放射能量與同溫度黑體放射能量之比值，即灰體放射輻射能量之效率，為一介於0-1之間的係數。據此史蒂芬－波茲曼定律（$W=\sigma.T^4$）的黑體輻射能公式延伸應用於灰體時，則更改為：$W=\varepsilon.\sigma.T^4$，將熱感測器量測的熱能W及已知該灰體的放射率e輸入公式。則可估算出灰體輻射溫度。惟因放射率的差異，不同灰體在相同溫度下，可能有完全不同的輻射能量。

熱感測器或稱熱輻射檢波器、熱輻射計，係偵測入射的熱輻射，再將輻射能轉為輻射溫度，以電訊記錄、儲存。常見的熱輻射計（thermal radiometer）多為貼溫偵測，屬於非影像式感應式，熱影像輻射計(thermal imaging radiometer)則為熱掃描感測器，能產生-2-維（two-dimension）熱影像顯示。紅外線熱像技術即採用熱影像輻射計掃描被測物面溫，再配合適當軟體解讀與分析。平常物體的測溫，選用的波長範圍為大氣層氣窗當中的8-14um，此範圍涵大蓋了地表大部分物體放射能波譜之峰值。高溫物體的量測，則選用3-5um波長範圍，此為大氣層另一主要的熱紅外線輻射氣窗，例如森林火災、火山爆發偵測、燃爐溫度的量測、及火箭燃溫的檢測等。

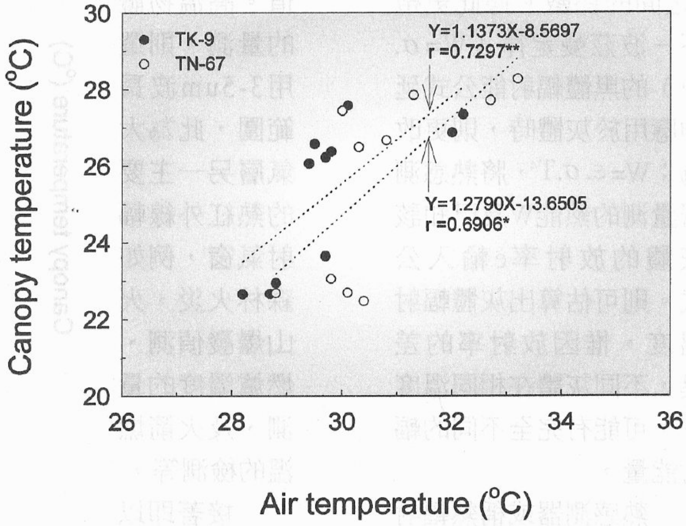
接著即以實例概要說明，比較正常灌水與缺水稻株熱像差異。圖一為水稻臺農67號稻株在分蘗盛期的熱像，上圖左為呈現初步萎凋的缺水株，分蘗數明顯減少；上圖右為生長旺盛的正常灌水株，分蘗及葉片十分密集。以熱像處理軟體可做點、線、面溫之量測，圖一係縱剖面線溫之測定，經劃分五段、計算各段平均，清楚顯示缺水株表溫高於正常株。其中缺水株從株頂至中段部位體溫高於下段部位，正常株則全株體溫變化甚少。圖二進一步顯示水稻不同生育階段之體溫，由於各生長期缺水程度不一，缺水株與正常株體溫差異不等，植株不同離地高度部位體溫亦不均一。由圖證實，



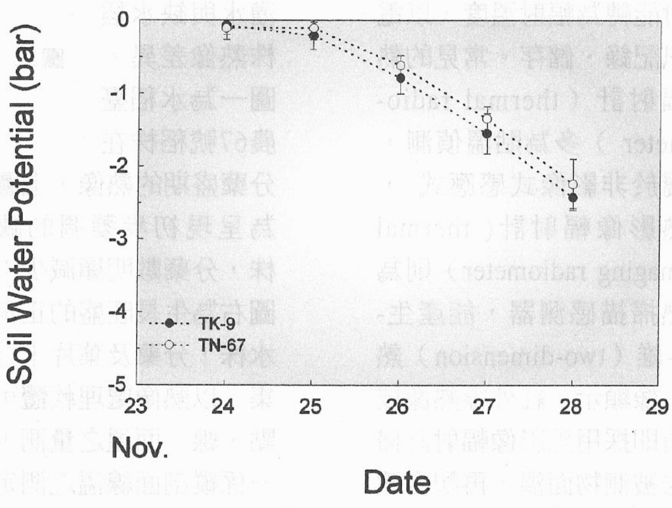
圖二　水稻品種臺農67號與臺稉9號植體溫度及植株不同部位體溫之比較

(1)缺水確實將造成植體溫度的上升，(2)體溫上升幅度因缺水程度而定，(3)植體各部位的溫度可能不同（原因待探討），(4)各生育期對缺水的敏感程度不等，(5)稻株進行旺盛的蒸散作用使其體溫低於氣溫，及(6)蒸散作用速率受到缺水影響。圖三即顯示稻株體溫與氣溫間之關係，品種臺農67號及臺稉9號表現不同。吾人亦可據以計算氣溫與植體溫差，再回歸分析氣溫與此溫差間之關係，未來將可由氣溫高低估算溫差及稻株體溫。當然正常灌水株與缺水株之結果將不一樣，而由此關係可推測蒸散作用之降溫效率。圖四為臺農67號與臺稉9號進行土壤缺水處理時，土壤水分潛勢下降趨勢。若均採用相同土壤，似乎臺稉9號土壤缺水幅度較大，隱示臺稉9號消耗水分速率大於臺農67號者。圖四為一般缺水試驗所常實施之項目，亦為瞭解土壤缺水程度所必要參考資料。

經過上述分析與說明，顯見熱紅外線輻射影像提供資訊之豐富，在許多農業生產過程中均得以應用。凡環境變異造成的溫差，植體因生育進展形成的生理生化轉變而釋出的能量差，或因病蟲感染產生植體體外觀顏色與溫度的差異，均可借用紅外線熱像技術調查與分析，因為紅外線熱像技術為測定熱能及溫度的最佳工具。



圖三 水稻品種臺農67號與臺稉9號植體溫度與氣溫之相關



圖四 栽植水稻品種臺農67號與臺稉9號土壤缺水處理後土壤水分潛勢之改變